

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет залізничного транспорту

**ІТТ** | ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ  
ТРАНСПОРТНІ  
ТЕХНОЛОГІЇ



# ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

V МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

ПРОГРАМА КОНФЕРЕНЦІЇ



**ІТТ2024**

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ

**Тези доповідей 5-ої міжнародної  
науково-технічної конференції**

**«ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ»**

Харків 2024

5-а міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології», Харків, 25–27 листопада 2024 р.: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2024. – 339 с.

Збірник містить тези доповідей науковців вищих навчальних закладів України та інших країн, підприємств транспортної та машинобудівної галузей за чотирма напрямками: розвиток інтелектуальних технологій при управлінні транспортними системами; транспортні системи та логістика; інтелектуальне проектування та сервіс на транспорті; функціональні матеріали та технології при виготовленні та відновленні деталей транспортного призначення.

© Український державний університет  
залізничного транспорту, 2024

**ПОВЕРХНЕВЕ ЗМІЦНЕННЯ 3D-ПРИНТУВАНОВОГО СПЛАВУ ТІ-6АІ-4V  
ШЛЯХОМ КОМПЛЕКСНОЇ ОБРОБКИ**

**SURFACE HARDENING OF 3D-PRINTED Ti-6Al-4V ALLOY THROUGH  
COMPLEX TREATMENT**

**Б.В. Єфременко<sup>1</sup>, к.т.н., Ю.Г. Чабак<sup>1,2</sup>, д.т.н.,  
В.Г. Єфременко<sup>1,2</sup>, д.т.н., Є.Ю. Балалаєва<sup>1</sup>, к.т.н.,  
Є.В. Цвєткова<sup>1</sup>, к.т.н., А.А. Симонов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Приазовський державний технічний університет (м. Дніпро)

<sup>2</sup>Інститут дослідження матеріалів SAS (м. Кошице, Словаччина)

**B.V. Efremenko<sup>1</sup>, PhD (Tech.), Yu.G. Chabak<sup>1,2</sup>, Dr.Sci (Tech.),  
V.G. Efremenko<sup>1,2</sup>, Dr.Sci (Tech.), E.Yu. Balalayeva<sup>1</sup>, PhD (Tech.),  
E.V. Tsvetkova<sup>1</sup>, PhD (Tech.), A.A. Simonov<sup>1</sup>**

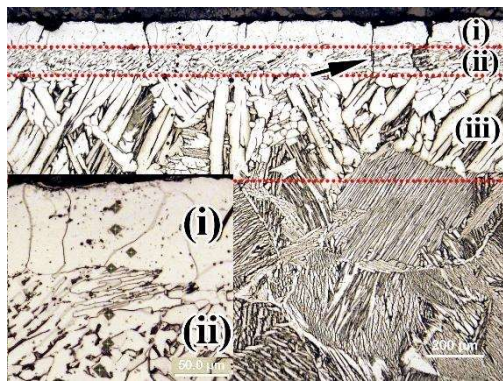
<sup>1</sup>Pryazovskyi State Technical University (Dnipro)

<sup>2</sup>Institute of Materials Research, SAS (Kosice, Slovakia)

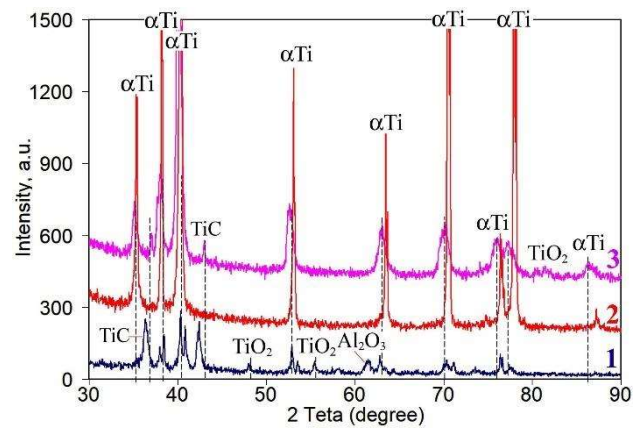
The object of this work is a study of the microstructure and hardness evolution of LPBF-manufactured biomedical alloy Ti-6Al-4V superficially modified by pack carburization and subsequent laser melting [1]. Ti-6Al-4V alloy specimens of 5x10x25 (mm) in size were fabricated by Laser Powder Bed Fusion process using a “ProX DMP 320” (3D Systems) equipment with a 500 W fibre laser (1070 nm wavelength, 0.5 mm beam diameter). The powder feedstock (particle size is 39±3 μm) was an EOS Titanium Ti64ELI powder of nominal chemical composition (wt. %): Al (5.5-6.75), V (3.5-4.5), O < 0.2, N < 0.05, C < 0.08, H < 0.015, Fe < 0.3, Ti - balance.

Carburization was conducted in a powder of (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO (20 vol. %), K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> (20 vol. %), and a carbon black (60 vol. %) at 1000 °C (7 hours). The laser processing was fulfilled by fiber laser «TruFiber 400» (TRUMPF) of 1064 nm wavelength with a power of 400 W and scanning velocity of 5 mm·sec<sup>-1</sup>. The investigations included optical (GX71 OLYMPUS) and scanning electron microscopy (SEM) observations (JSM-7000F JEOL), energy-dispersive X-ray spectroscopy (INCAx-sight, Oxford Instruments), X-ray diffraction (X'Pert PRO, PANalytical, Cu-Kα radiation) and microhardness measurement (LM700AT LECO, under the load of 0.05 kg).

It was found that carburization resulted in a 440-700 μm deep carbon-rich layer of αTi with an upper thin layer comprising TiC, TiO<sub>2</sub>, and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Fig.1). Carburization led to a hardness of 720±12 HV in a near-surface layer which is two times the bulk structure (322±32 HV) (Fig. 2).



(a)



(b)

Figure 1. (a) The cross-sectional microstructure of the as-carburized state (i, ii, iii are the layers within the carburized layer), (b) XRD patterns of LPBF Ti-6Al-4V alloy (1 – as-carburized (oxidized), 2 – as-carburized (polished), 3 – laser-melted (sand-blasted)).

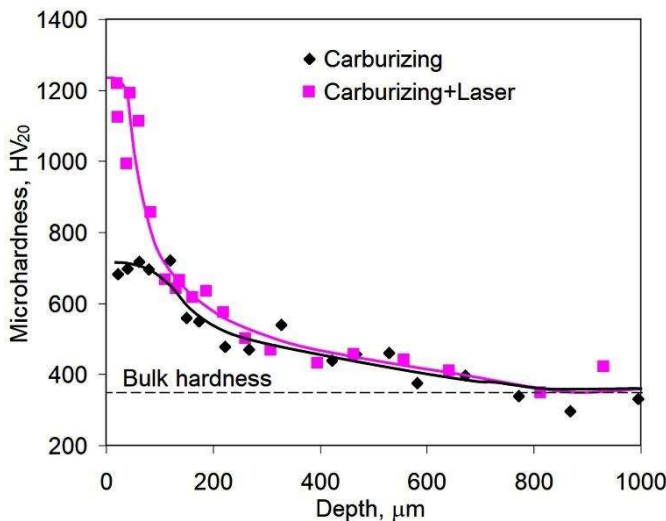


Figure 2. Microhardness profile in cross-section of carburized and laser-melted specimens of LPBF Ti-6Al-4V alloy.

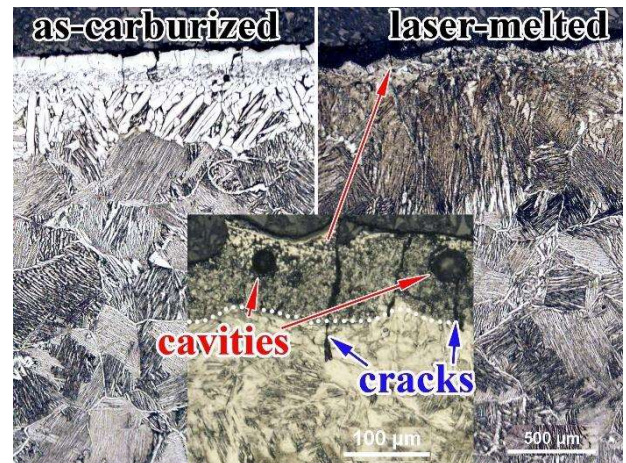


Figure 3. The cross-sectional microstructure of the specimens after the laser melting.

A consequent laser scanning formed a 60-120  $\mu\text{m}$  wide melted layer followed by the heat-affected zone (having a needle-like  $\alpha\text{Ti}$ -martensite) extended to  $\sim 0.8$  mm depth (Fig. 3). The melted layer had a fine-grained structure which included the dispersive particles of an oxycarbide  $\text{Ti}(\text{O}_{0.8}\text{C}_{0.2})$  of both grainy and dendrite-like shapes (Fig. 4).

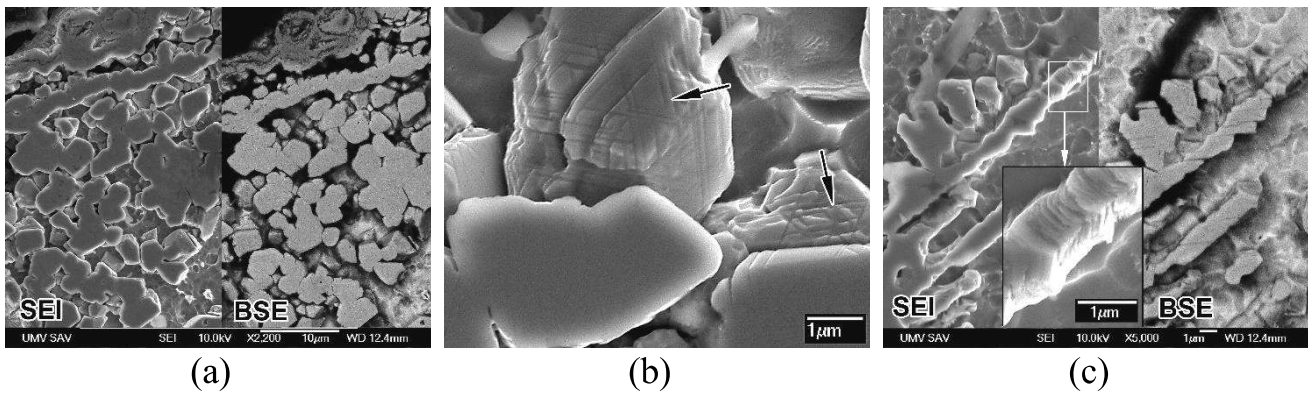


Figure 4. SEM images of microstructure of a near-surface layer in a laser-processed specimen: (a) grainy particles of oxycarbide  $Ti(O_{0.8}C_{0.2})$  (SEI and BSE images), (b) the crystalline planes in the particles, (d) the dendritic-shaped particles  $Ti(O_{0.8}C_{0.2})$  (SEI and BSE images).

Consequently, the melting layer's hardness increased up to 1000-1200 HV with a further gradual decrease, according to the declining carbon content profile. Cracks and shrinkage cavities formation accompanied laser melting. It also led to an increased surface roughness caused by its boiling under the laser melting. Such a response of the Ti-6Al-4V alloy to laser melting is caused by surface overheating due to the low heat conductivity of the alloy.

[1] Efremenko B.V., Chabak Yu.G., Tsvetkova E.V., Dzherenova A.V., Efremenko V.G., Kromka F., Zurnadzhy V.I., Olejnik I.M. Surface laser melting of a carburized LPBF-manufactured Ti-based biomedical grade alloy // Journal of Nano- and Electronic Physics Vol. 15 No 4, 04035(6pp) (2023). [https://doi.org/10.21272/jnep.13\(2\).02030](https://doi.org/10.21272/jnep.13(2).02030)